

TBK

TIEDTKE - BÜHLING - KINNE & PARTNER (GbR)

Enclosure of February 26, 2002

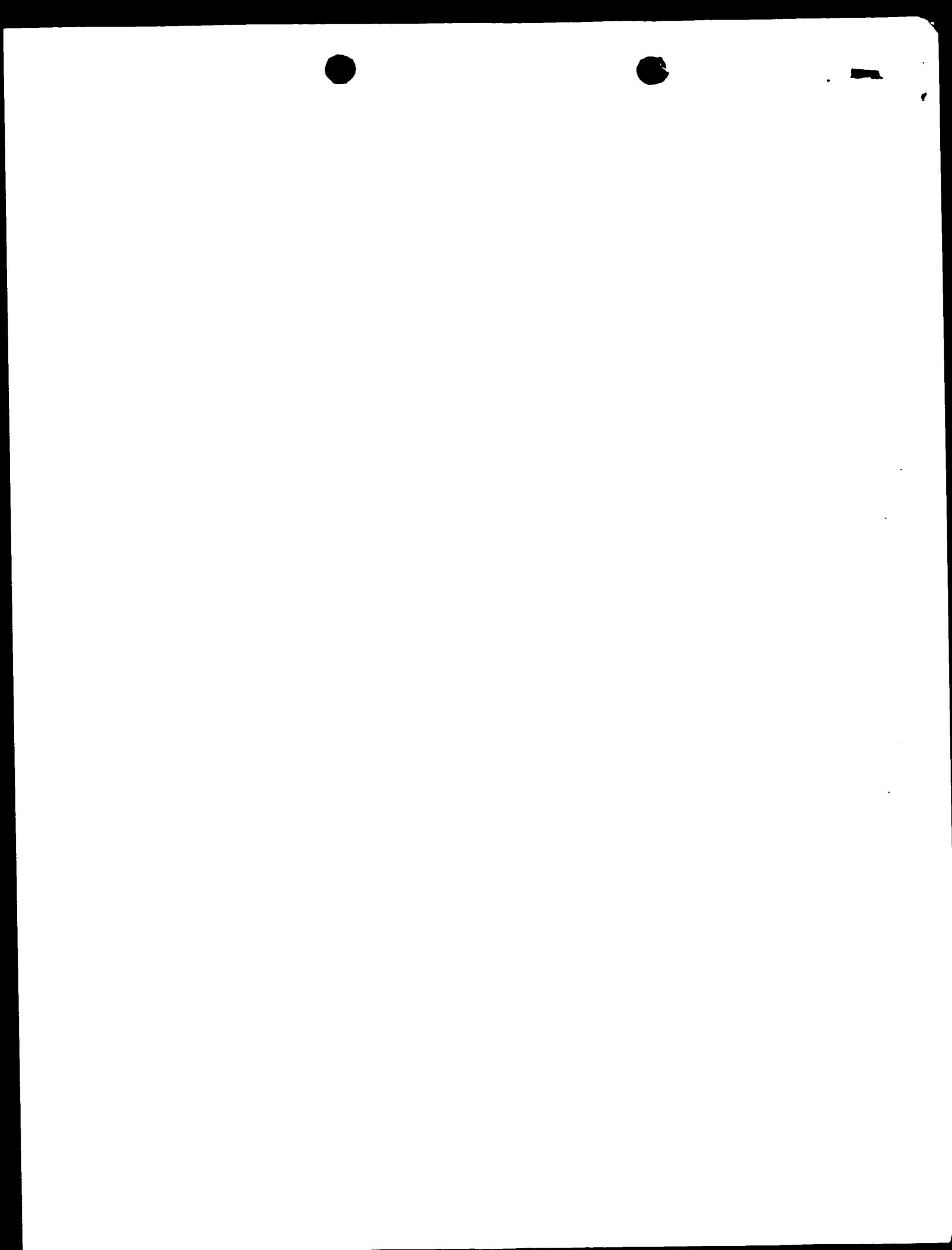
Your ref.: P2P2000076 Our ref.: EP 27982
 European Patent Application No.: 00 118 683.2-2119
 Kabushiki Kaisha Toyoda Jidoshokki Seisakusho

**Technical Comments on
 Canadian Publication No. 1146725**

The Canadian Publication No. 1146725 is hereinafter referred to as D1.

1. Regarding the subject matter of present claim 1:
 D1 discloses a hydrogen supply system for supplying hydrogen to a fuel cell (cf. claim 8: hydrogen supply system for an internal combustion engine or a fuel cell), the system being characterized by:
 - (1) a fuel chamber¹ for storing liquid fuel,¹¹ which includes a hydrogen containing compound (cf. claim 1: fuel chamber containing cyclohexane or methyl cyclohexane)
 - (2) a dehydrogenation apparatus⁷ for dehydrogenating the fuel to form hydrogen gas and a by-product (cf. claim 1: catalytic converter)
 - (3) a gas-liquid separation apparatus³³ for separating the hydrogen gas from the by-product by liquefying the by-product apparatus (cf. claim 1: condenser at the exit of the catalytic converter causing the liquefaction of the benzene and toluene vapors and the release of hydrogen)
 - (4) a recovery chamber³⁵ for recovering and storing the by-product liquefied in the gas-liquid separation (cf. claim 1: means for recovering separately liquid benzene or toluene and hydrogen)

Therefore, D1 discloses all features of present claim 1.



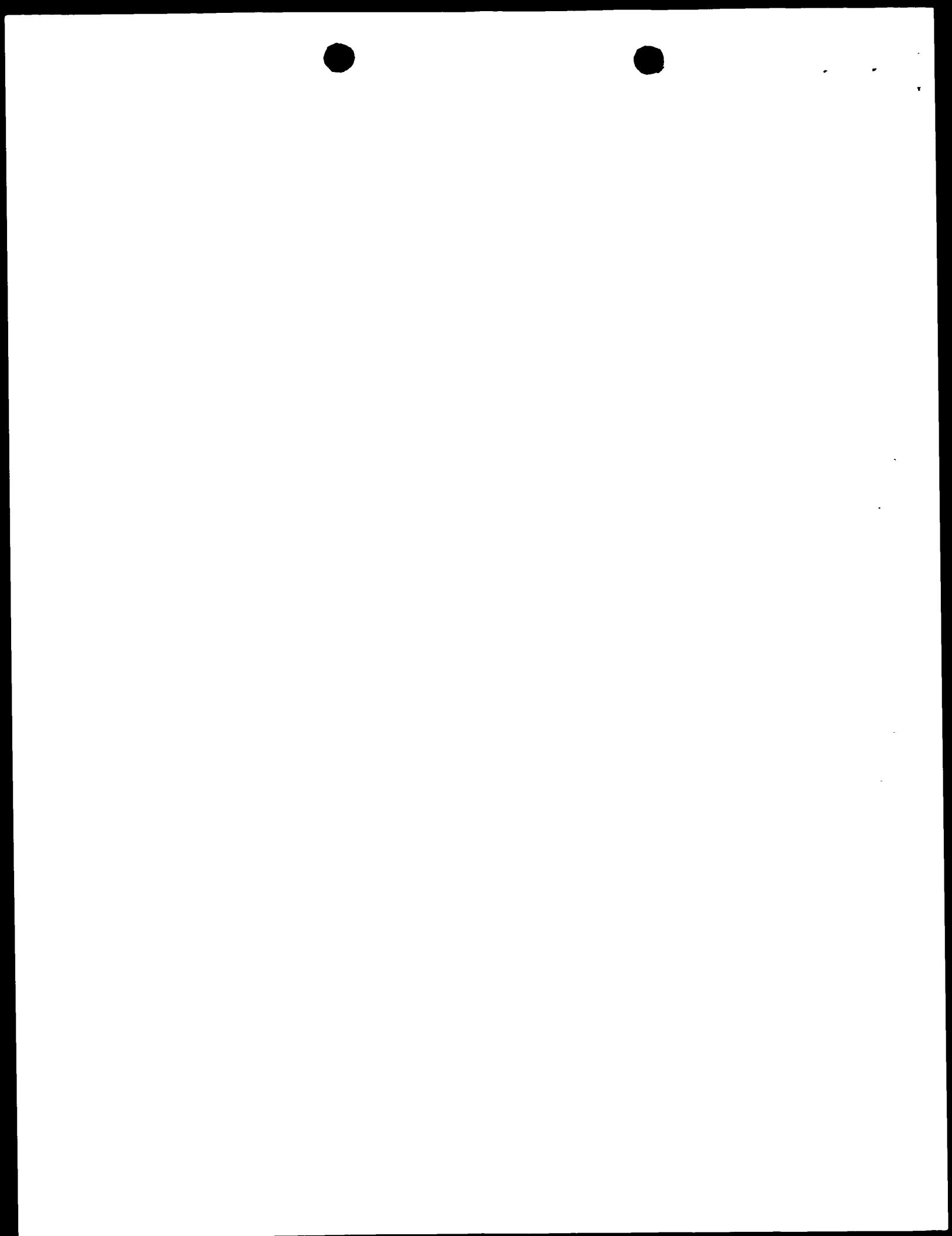
- 2/3 -

Hence a novel and inventive feature has to be incorporated in present claim 1 in order to delimit the subject matter against D1. Since we are not aware of the applicant's need for protection and have not studied yet the other documents cited in the European Search Report, we do not feel in the position to propose such a feature. However, please be informed that D1 discloses the use of cyclohexane and methyl cyclohexane for the purpose of hydrogen storage (cf. claim 1 and page 1, first paragraph) but not the use of isopropyl alcohol for said purpose. Therefore, the subject matter of subclaim 17 is disclosed. D1 deals more generally with the use of cyclohexane and methyl cyclohexane for the purpose of hydrogen storage and discloses only a rather simple apparatus therefor (cf. Figur 1 and 2). Thus, none of the features described in present claims 2 to 16 and 18 are disclosed in D1.

2. Regarding the subject matter of present claim 19:
D1 fails to disclose a chemical heat pump. Hence, D1 does not disclose the subject matter of present claim 19.

3. Regarding the subject matter of present claim 26:
D1 proposes in the paragraph bridging pages 12 and 13 a global supply and recycling system for hydrogen using cyclohexane/benzene thereby disclosing the features according to claims 26 and 27. However, the subject matter of claim 28 differs from D1 at least in the "movable partition for separating the third fuel chamber and the third recovery chamber".

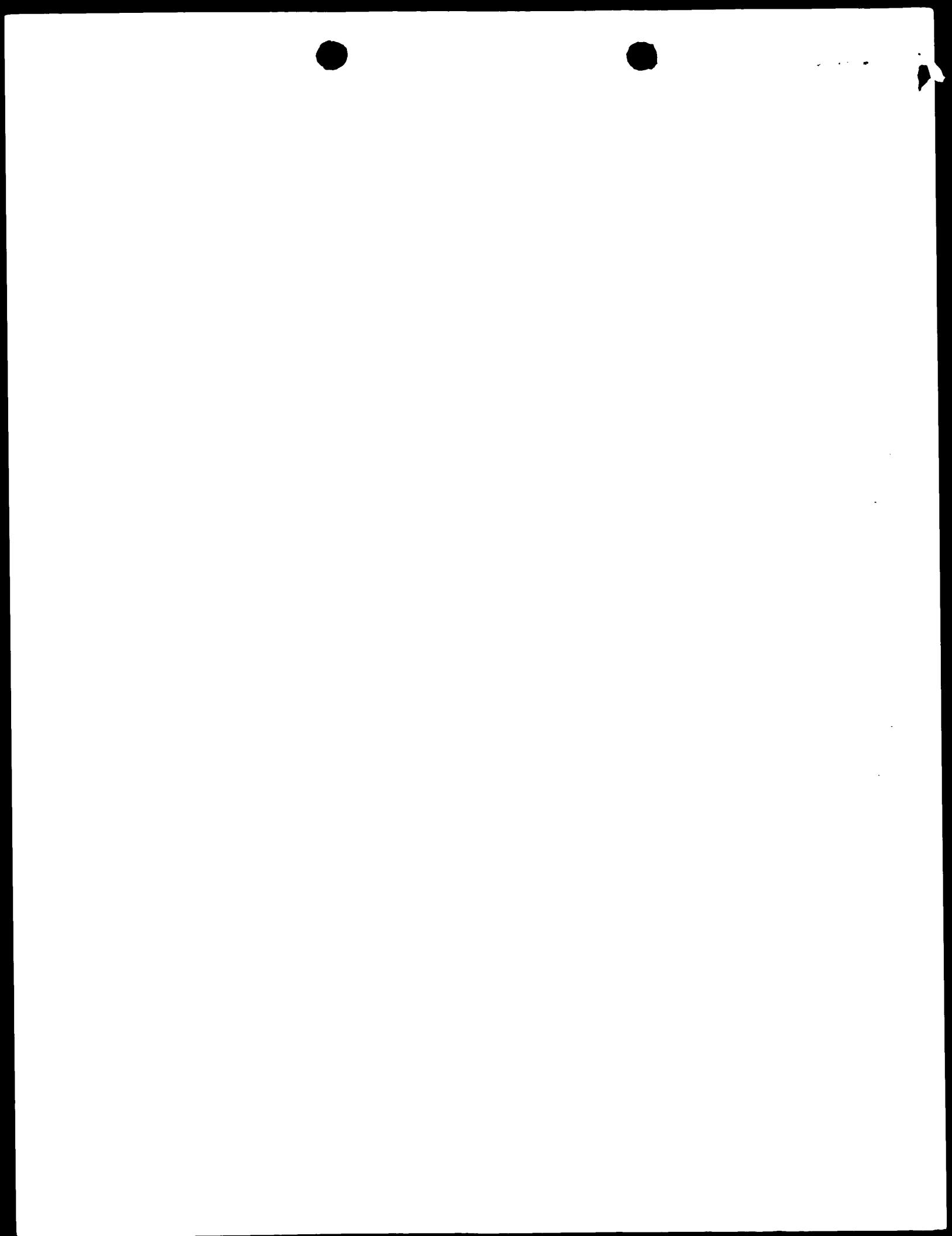
Also, the subject matter according to present claims 29 and 30 differs from D1 at least in said movable partition. The features according to claim 31 seem to be disclosed again in the paragraph bridging pages 12 and 13. Moreover, the use of a hydrogen supply system for a vehicle and as a



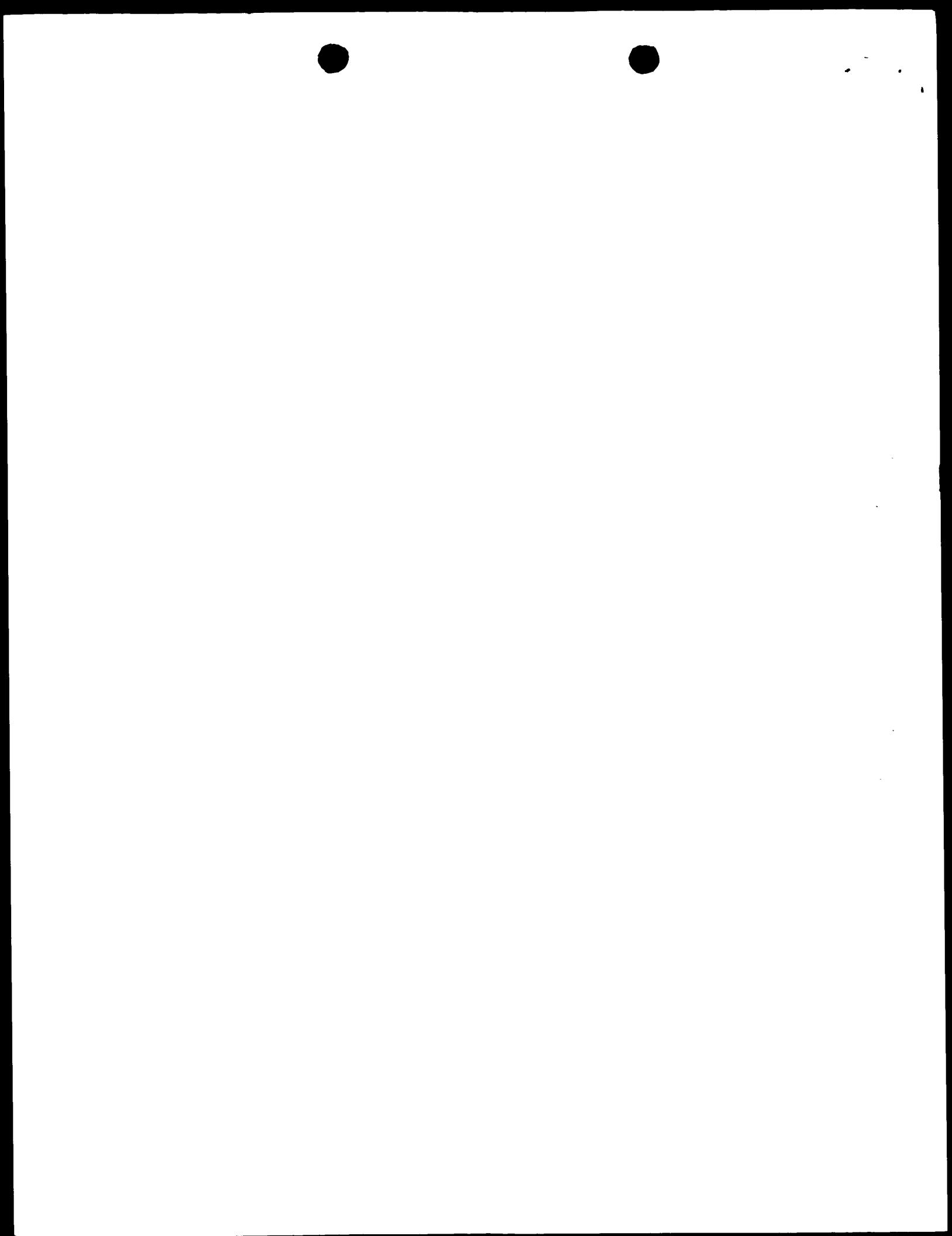
- 3/3 -

houshold power plant seem to be disclosed on page 3 and 12,
respectively.

Please let us have your instructions at your earliest
convenience.



As shown in Fig. 1, the hydrogen supply system includes a fuel chamber (1) containing cyclohexane (11), a catalytic converter (7) for converting the cyclohexane to benzene, a condenser (25) connected to the catalytic converter, a collection chamber (35) for collecting liquid benzene, and a branched conduit (31) in which hydrogen gas flows.



(11) (A) NO

1 146 725

(45) EMIS: 830524

(52) CLASSE 23-401
RENOVI CL. 123-15;
319-4

(51) INT. CL. C01B 3/26

(19) (CA) **BREVET CANADIEN** (12)

(54) HYDRURE LIQUIDE POUR LE STOCKAGE DE L'HYDROGENE

7,004,4/17

(72) Bélanger, Guy,
Canada

(73) Concédé: Hydro-Quebec
Canada

(21) DEMANDE NO 378,461

(22) DÉPOSÉE: 810527

REVENDICATIONS 18

Canada

DISTRIBUÉ PAR LE BUREAU DES BREVETS, OTTAWA
CCA-275 (11-82)

ABREGE DESCRIPTIF

Un hydrure liquide, tel que le cyclohexane ou le méthyl cyclohexane est utilisé pour le stockage de l'hydrogène. L'hydrocarbure est introduit sous forme de vapeur dans un réacteur catalytique où il est soumis à une déshydrogénéation donnant du benzène dans le cas du cyclohexane, et du toluène dans le cas du méthyl cyclohexane et de l'hydrogène lequel peut être utilisé comme carburant dans un moteur à combustion interne ou dans une pile à combustible. Le benzène récupéré est réagi avec de nouvelles quantités d'hydrogène et le cycle recommence.

La présente invention est relative à un dispositif pour la déshydrogénéation du cyclohexane ou du méthyl cyclohexane et plus précisément un système et une méthode d'alimentation en hydrogène d'un moteur à combustion interne ou d'une pile à combustible.

Les vertus de l'hydrogène comme vecteur d'énergie sont bien connues et font l'objet de plusieurs propositions à la fois pour le transport routier, ferroviaire ou aérien, de même que son utilisation pour le stockage de l'énergie électrique. Dans beaucoup de ces scénarios énergétiques, le stockage de l'hydrogène pose un problème de taille. Les solutions envisagées vont du stockage cryogénique (-253 °C), au stockage sous forme de gaz comprimé et enfin sous forme d'hydrures métalliques. Le stockage cryogénique permet de bénéficier de la teneur énergétique par unité de masse de l'hydrogène (33750 Wh kg^{-1}) mais demande une infrastructure de manutention très particulière et très spécialisée.

Cette solution demeure valable pour le transport aérien ou/et spatial. Pour le transport routier, des expériences ont été réalisées à la fois avec l'hydrogène gazeux, liquide ou sous forme d'hydrures. Cette dernière technique est théoriquement très avantageuse. Elle repose sur le principe que l'hydrogène moléculaire en contact avec certains métaux (e.g. Palladium) ou certains alliages (fer-titanium, lanthane-nickel, etc...) se dissocie et l'hydrogène atomique occupe des sites à l'intérieur du réseau cristallin. On peut atteindre des densités d'hydrogène équivalentes à la densité de l'hydrogène liquide ($0,07 \text{ gm ml}^{-1}$). Cependant le désavantage de cette technique est le poids important du vecteur d'hydrogène (l'alliage). Ainsi on peut obtenir des teneurs énergétiques théoriques de l'ordre de 516 Wh kg^{-1} pour le $\text{FeTi}_{H_{1,7}}$ et 2555 Wh kg^{-1} pour

le MgH₂ (10% Ni). En plus du poids, les temps de charge (i.e. absorption de l'hydrogène) sont relativement importants tandis que les pressions en jeu sont importantes pour les alliages opérant à la température ambiante. La technologie de ces hydrures est encore en développement et de nombreux problèmes sont encore à résoudre pour une utilisation généralisée de ces alliages. Le stockage par gaz comprimé exige des cylindres lourds avec des aciers spéciaux pour réduire les problèmes de fragilisation.

10 D'autre part, le domaine du transport représente environ le tiers de la consommation énergétique et sa presque totalité est basée sur l'utilisation du pétrole. Des efforts importants de recherches et développements sont réalisés afin de réduire la demande de combustible importé. Les options fondamentales sont de deux ordres: la synthèse d'un combustible synthétique à partir de ressources abondantes (charbon ou biomasse) ou encore l'utilisation de l'électricité via des accumulateurs ou de l'hydrogène électrolytique. Il faut noter que jusqu'à présent, aucune solution proposée n'approche la densité énergétique de l'essence (en terme de poids ou de volume) ni la facilité d'approvisionnement et de manutention. 20 En plus, une solution viable devrait utiliser le plus possible une infrastructure industrielle déjà existante de production, de transport et de distribution.

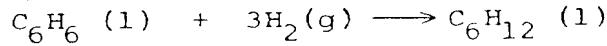
Un but de l'invention est de proposer une avenue originale et qui pourrait concilier plusieurs contraintes, soit l'utilisation de l'énergie électrique comme source primaire d'énergie, l'utilisation d'un vecteur énergétique liquide et un mécanisme de traction non polluant.

30 Un autre but de l'invention est d'utiliser le cyclohexane (C₆H₁₂) ou du méthyl cyclohexane comme vecteur d'énergie et de produire l'hydrogène dans le véhicule par une réaction

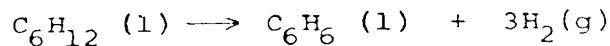
simple de déshydrogénéation qui libère de l'hydrogène et du benzène (C_6H_6) ou du toluène. L'hydrogène ainsi produit est consommé pour fin de traction dans le véhicule et le benzène ou le toluène sont recyclés dans une usine pour régénérer le cyclohexane ou le méthyl cyclohexane.

Un autre but de l'invention est d'utiliser l'hydrogène (électrolytique de préférence) pour le transport routier. Le principe de cette approche est l'utilisation d'un matériau liquide (le cyclohexane ou le méthyl cyclohexane) comme vecteur 10 d'hydrogène. L'hydrogène est libéré à bord du véhicule au moyen d'une déshydrogénéation et le co-produit de cette réaction, le benzène ou le toluène, est conservé et recyclé. L'hydrogène sert à la traction via un moteur à combustion interne ou une pile à combustible. Le benzène ou le toluène sont récupérés et hydrogénés à partir d'hydrogène produit par électrolyse dans une usine appropriée et centralisée. Le seul matériau consommable dans toute cette opération est l'eau servant à la production de l'hydrogène.

La présente invention propose un système de stockage 20 de l'hydrogène qui fait appel à un composé qui est liquide à la température ambiante, qui est disponible et dont les réactions chimiques pour le stockage de l'hydrogène sont connues. Ce liquide est le benzène (ou des dérivés simples de cette molécule) qui peut accepter 3 molécules d'hydrogène par molécule de benzène pour générer un autre liquide soit le cyclohexane



Le cyclohexane peut alors être transporté facilement et utilisé soit dans un véhicule ou dans un site approprié pour le 30 stockage de l'énergie électrique. L'hydrogène est libéré par la réaction inverse



L'hydrogène ainsi libéré peut servir alors de source d'énergie non polluante par sa combustion dans l'air



Le dispositif pour la déshydrogénéation du cyclohexane ou du méthyl cyclohexane selon l'invention est caractérisé en ce qu'il comprend

un réservoir destiné à contenir du cyclohexane ou du méthyl cyclohexane;

un réacteur catalytique;

10 des moyens permettant de vaporiser le cyclohexane ou le méthyl cyclohexane et d'introduire les vapeurs ainsi produites dans le réacteur catalytique;

des moyens de chauffer le réacteur catalytique à une température contribuant à décomposer le cyclohexane ou le méthyl cyclohexane en benzène ou toluène, et en hydrogène;

un condenseur à la sortie du réacteur catalytique facilitant la liquéfaction des vapeurs de benzène ou de toluène et la libération de l'hydrogène;

20 des moyens de récupérer séparément le benzène ou le toluène liquide et l'hydrogène.

Selon un aspect de l'invention, le dispositif peut aussi comprendre une source de chaleur capable de porter à l'ébullition le cyclohexane ou le méthyl cyclohexane présent dans le réservoir.

Selon un autre aspect de l'invention, on peut prévoir un premier conduit reliant le réservoir au réacteur catalytique, ce qui facilite le passage des vapeurs de cyclohexane ou de méthyl cyclohexane à partir du réservoir vers le réacteur catalytique.

30 Le dispositif selon l'invention peut aussi comprendre un ruban chauffant entourant le premier conduit assurant ainsi

le maintien du cyclohexane ou du méthyl cyclohexane à l'état vaporisé avant son introduction dans le réacteur catalytique.

Selon un autre aspect de l'invention le réacteur catalytique peut être constitué par un second conduit à l'intérieur duquel se trouve un catalyseur, et d'un four pouvant être chauffé entre environ 250°C et 300°C dans lequel se situe le second conduit.

On peut aussi prévoir un troisième conduit pour relier le condenseur au réacteur catalytique.

10 Selon une réalisation de l'invention, le dispositif peut comprendre un récipient où l'on récupère le benzène ou le toluène liquide libéré par le condenseur, un quatrième conduit reliant le condenseur au récipient et une sortie d'hydrogène aménagée le long du quatrième conduit.

Le système d'alimentation en hydrogène d'un moteur à combustion ou d'une pile à combustion à partir du cyclohexane ou du méthyl cyclohexane selon l'invention est caractérisé en ce qu'il comprend:

20 un réservoir destiné à contenir du cyclohexane ou du méthyl cyclohexane ou un mélange de cyclohexane et de benzène ou de méthylcyclohexane et de toluène;

un réacteur catalytique;

des moyens permettant de vaporiser le cyclohexane ou le méthyl cyclohexane et d'introduire les vapeurs ainsi produites dans le réacteur catalytique;

des moyens de chauffer le réacteur catalytique à une température contribuant à décomposer le cyclohexane en benzène et en hydrogène ou le méthyl cyclohexane en toluène et en hydrogène;

30 un condenseur à la sortie du réacteur catalytique facilitant la liquéfaction des vapeurs de benzène ou de toluène et la libération de l'hydrogène;

des moyens de récupérer séparément le benzène ou le toluène liquide et l'hydrogène;

des moyens pour alimenter le moteur à combustion interne ou la pile à combustion avec l'hydrogène récupéré à l'étape précédente; et

des moyens permettant d'acheminer le benzène ou le toluène liquide vers le réservoir.

Selon une réalisation de l'invention, le système peut comprendre un réservoir d'hydrogène tampon relié au moteur à combustion interne ou à la pile à combustion permettant le fonctionnement de ce dernier jusqu'à ce que l'hydrogène produit par le réacteur catalytique puisse être fourni directement au moteur.

Selon une autre réalisation préférée de l'invention, le réservoir est muni d'une ouverture pour le plein en cyclohexane ou en méthyl cyclohexane et d'une vidange pour enlever le benzène ou le toluène du réservoir lorsqu'il est épuisé en cyclohexane ou en méthyl cyclohexane.

Selon un autre aspect de l'invention, le réservoir peut être relié au réacteur catalytique par un premier conduit, et une pompe est prévue le long de ce premier conduit pour faire passer le cyclohexane ou le méthyl cyclohexane du réservoir au réacteur catalytique.

On peut prévoir un détecteur UV de benzène ou de toluène disposé le long du premier conduit afin de déterminer l'épuisement en cyclohexane ou en méthyl cyclohexane du réservoir et d'indiquer le moment venu de vidanger le benzène ou le toluène du réservoir et de faire le plein en cyclohexane ou en méthyl cyclohexane.

Selon une autre réalisation préférée de l'invention, le premier conduit du système se termine à l'intérieur du

réacteur catalytique, par un atomiseur vaporisateur destiné à former des vapeurs de cyclohexane ou de méthyl cyclohexane dans le réacteur catalytique.

Il est préférable de chauffer le réacteur catalytique en se servant de la chaleur qui émane du moteur à combustion interne.

Selon une autre réalisation préférée de l'invention, on prévoit un filtre trappe à la sortie du condenseur de façon à prévenir l'acheminement du benzène ou du toluène vers le moteur à combustion interne ou la pile à combustion tout en permettant le passage de l'hydrogène vers ces derniers.

Le réservoir tampon contient de préférence un hydrure métallique, par exemple LaNi_5H_x , où x varie entre 0 et 5, $\text{FeTiH}_{1,6}$ et le Mischmetal Ni_5H_y où y varie entre 0 et 5.

La méthode d'alimentation en hydrogène d'un moteur à combustion ou d'une pile à combustion à partir du cyclohexane ou du méthyl cyclohexane contenu dans un réservoir selon l'invention est caractérisé en ce que:

après avoir amorcé le moteur par de l'hydrogène que 20 l'on retire d'un réservoir tampon, l'on soutire du cyclohexane ou du méthyl cyclohexane contenant éventuellement du benzène ou du toluène dudit réservoir,

l'on vaporise le cyclohexane ou le méthyl cyclohexane dans un réacteur catalytique que l'on chauffe à une température permettant de dissocier le cyclohexane en hydrogène et en benzène, ou le méthyl cyclohexane en hydrogène et en toluène,

l'on condense le benzène ou le toluène,

l'on introduit l'hydrogène dans le moteur, et le benzene ou le toluène liquide dans le réservoir.

30 L'invention va maintenant être illustrée à l'aide de la description détaillée de modes de réalisation pris comme

exemples non limitatifs et illustrés par les dessins annexés sur lesquels:

La Figure 1 est un schéma illustrant un dispositif selon l'invention,

La Figure 2 est un autre schéma d'un système d'alimentation en hydrogène d'un moteur à combustion interne à partir du cyclohexane.

En se référant d'abord à la Figure 1 on notera que le dispositif illustré comprend tout d'abord un réservoir 1, dont la forme peut être quelconque mais que l'on a illustré dans les dessins sous forme de ballon sphérique. Ce réservoir sera utilisé pour contenir du cyclohexane. A la base du réservoir 1, on retrouve une source de chaleur 3 qui servira à chauffer puis vaporiser le cyclohexane qui se trouve dans le réservoir 1. Le cyclohexane sera introduit dans le réservoir 1 par l'ouverture 5.

Le dispositif illustré en Figure 1 est ensuite constitué d'un réacteur catalytique 7 relié au réservoir 1 par l'entremise d'un conduit 9, ce qui facilitera le passage des vapeurs de cyclohexane à partir du réservoir 1 vers le réacteur catalytique. Lorsque l'on chauffe le cyclohexane 11 dans le réservoir 1, il est impératif que le composé 11 soit maintenu sous forme de vapeur durant son acheminement vers le réacteur catalytique 7 via le conduit 9. Pour ce faire, on a prévu un ruban chauffant 13 qui entoure le conduit 9, lequel ruban chauffant est relié à une source de courant (non illustrée) de façon connue par l'entremise d'une prise de courant 15.

Le réacteur catalytique 7 est constitué par un conduit 17 à l'intérieur duquel on a disposé de façon connue un catalyseur au palladium 19, bien qu'on aurait tout aussi bien pu disposer du platine, de l'oxyde de molybdène, etc. Ce conduit

17 se situe dans un four 21 relié à une source de courant (non illustrée) de façon connue par l'entremise d'une prise de courant 23. Ce four doit pouvoir être chauffé entre environ 250°C et 300°C.

Toujours en se référant à la Figure 1, on verra que le dispositif illustré comprend un condenseur 25 de construction conventionnelle relié au réacteur catalytique 7 par un conduit 27. Ce condenseur servira à la liquéfaction des vapeurs de benzène qui se forment dans le réacteur catalytique à partir du cyclohexane, par déshydrogénéation de ce dernier.

A la sortie du condenseur 25, on retrouve un conduit 29 qui sert à l'évacuation du benzène liquide, formé à partir des vapeurs de ce même composé dans le condenseur 25, ainsi que de l'hydrogène. Quant à l'hydrogène, il est évacué par le circuit de dérivation 31 en le faisant au préalable barbotter en 33 afin d'enlever les impuretés avec lesquelles il pourrait être mêlé. Le benzène, quant à lui, est envoyé vers le récipient 35 où il est récupéré.

On verra donc qu'en utilisant le dispositif décrit ci-dessus, du cyclohexane est chauffé à ébullition par une source de chaleur 3 et les vapeurs de cyclohexane sont entraînées dans un réacteur 7 où un catalyseur 19 (dans ce cas-ci du palladium) est chauffé entre 250 et 300°C. La réaction de déshydrogénéation se déroule et les vapeurs à la sortie du réacteur sont condensées; l'hydrogène produit par la réaction est alors libéré et disponible pour une utilisation énergétique. Le benzène est récupéré et il est acheminé à une usine de traitement où il est hydrogéné à partir d'hydrogène produit par électrolyse ou à partir du gaz naturel. Cette hydrogénéation exige des hautes températures et hautes pressions comme

c'est le cas présentement à l'intérieur des raffineries modernes.

Lorsqu'on utilise le dispositif selon l'invention, notamment au niveau d'un véhicule automobile, ou tout simplement pour faire fonctionner un moteur à combustion interne, on aura recours au système illustré en Figure 2.

Dans ce système, où l'on retrouve certaines des composantes illustrées sur la Figure 1, et qui seront identifiées par les mêmes chiffres de référence, on notera tout d'abord 10 un réservoir 41, de forme quelconque, mais illustré ici sous forme cylindrique, qui est destiné à contenir du cyclohexane ou un mélange de cyclohexane et de benzène. Le système comprend aussi un réacteur catalytique 43 de construction conventionnelle relié au réservoir 41 par un conduit 45 qui sert à acheminer le cyclohexane ou un mélange de cyclohexane et de benzène vers le réacteur catalytique 43.

Le long du conduit 45, on a prévu une pompe à débit variable 47, pour faire passer le cyclohexane ou le mélange de cyclohexane et de benzène vers le réacteur catalytique. 20 Enfin, toujours le long du conduit 45, on aura prévu un détecteur UV de benzène 46, dont on reparlera plus bas.

Le réacteur catalytique 43 est relié au condenseur 25 par un conduit 27 de façon analogue à l'arrangement correspondant du dispositif illustré en Figure 1.

A la sortie du condenseur 25, on retrouve un conduit 49 qui sert au passage de l'hydrogène et du benzène liquide, ce dernier étant acheminé vers le réservoir 41 tel qu'on le voit sur le dessin de la Figure 2.

A courte distance de la sortie du condenseur, on retrouve 30 un conduit de déviation 51 qui s'embranche sur le conduit de déviation 49, et qui sert à envoyer l'hydrogène vers

le moteur 53. Afin d'empêcher l'entrée de benzène dans le conduit 55 et l'introduction de ce composé dans le moteur, ce qui serait forcément dommageable, on a prévu un filtre trappe 57 qui arrêtera aussi toute autre impureté.

L'acheminement normal de l'hydrogène vers le moteur 53 se fait par le conduit 59, 61 en position ouverte de la valve 63.

Une partie de la chaleur dégagée par le moteur 53 s'en ira réchauffer le réacteur catalytique en 65, 67 de façon à assurer la déshydrogénéation catalytique du cyclohexane en benzène et hydrogène.

Pour que cette déshydrogénéation ait lieu, il faut que la réaction intervienne sur des vapeurs de cyclohexane et que ces dernières soient maintenues en cet état. Pour ce faire, on a prévu un atomiseur-vaporisateur 69 à l'extrémité du conduit 45, précisément à l'entrée de ce dernier dans le réacteur catalytique. On notera que c'est la chaleur fournie en 65, 67 qui maintiendra le cyclohexane sous forme de vapeur.

Lorsque l'on désire amorcer le moteur, il faut pouvoir avoir recours à une source temporaire d'hydrogène. Dans le système illustré en Figure 2, il s'agit d'un réservoir tampon 71 qui renferme un hydrure métallique, notamment le LaNi_5H_x , où x varie entre 0 et 5, le $\text{FeTiH}_{1,6}$ ou le Mischmetal Ni_5H_y où y varie entre 0 et 5.

On verra donc que le cyclohexane est amené au réacteur de déshydrogénéation par une pompe à débit variable. Le liquide est vaporisé et amené à la température du réacteur, soit par la chaleur récupérée du moteur à combustion comme on le voit sur la Figure 2 ou, si l'on préfère, par la combustion directe de l'hydrogène gardé en réservoir. Le mélange benzène-hydrogène à la sortie du réacteur est refroidi et l'hydrogène

est récupéré par diffusion à travers une membrane sélective appropriée, notamment un filtre trappe 57. L'hydrogène est alors consommé dans le moteur ou remisé dans un réservoir tampon 71 qui accumule l'hydrogène servant au démarrage. Ce réservoir tampon contient une faible quantité d'hydrure métallique. On pourrait aussi utiliser de l'hydrogène gazeux sous pression. Le benzène est retourné au réservoir principal où il dilue le cyclohexane. Pour compenser ce facteur de dilution détecté par le détecteur 46, un débit de plus en plus important sera nécessaire dans le réacteur de déshydrogénéation pour garder le même taux de production d'hydrogène. Au niveau de la combustion de l'hydrogène, on peut avoir recours à une pile à combustible pour générer à un ou des moteurs électriques la force motrice. Dans cette optique, une pile à combustible alcaline peut être aussi utilisée car le carburant (l'hydrogène) ne contiendrait pas de CO_2 . Seul le CO_2 de l'air devrait être éliminé par un filtre approprié qui serait remplacé et régénéré à un intervalle plus ou moins régulier. Ce système présente l'avantage de pouvoir générer de la chaleur soit au niveau du moteur à combustion ou de la pile à combustible qui peut être utilisée pour le chauffage de l'habitacle.

Les étapes globales d'une opération basée sur le système selon l'invention sont les suivantes.

A partir d'une réserve de benzène, on hydrogénise cette molécule avec de l'hydrogène électrolytique (ou autre). Le cyclohexane ainsi formé est alors distribué aux points de vente (stations services) par les voies normales. Le consommateur vidange le carburant usé (du benzène) et fait le plein avec le cyclohexane. Le benzène est récupéré et hydrogéné selon la disponibilité de l'hydrogène électrolytique. La seule ressource consommée est l'eau et l'énergie électrique

sert d'énergie primaire. Comme la combustion est réalisée grâce à l'hydrogène et l'air, seule une faible quantité de NO_x se retrouve comme polluant et celui-ci peut être éliminé assez facilement.

Le système selon l'invention offre les avantages suivants:

1. Utilisation de l'électricité comme énergie primaire et l'eau comme matière consommable.

10 2. Utilisation d'un vecteur énergétique liquide qui peut s'intégrer à l'infrastructure industrielle de production et de transport.

3. Combustion non polluante au niveau de la conversion énergie chimique en énergie de traction.

4. Possibilité de répartir plus facilement la demande énergétique d'un réseau important. La charge (conversion benzène-cyclohexane) peut se réaliser durant la période creuse de demande électrique (e.g. l'été).

20 5. Les vecteurs de base (le benzène ou le cyclohexane) se retrouvent ou peuvent se synthétiser à partir du pétrole, du charbon, de la biomasse ou à partir de carbures; ils ne sont pas consommés et peuvent servir indéfiniment.

L'exemple donné ci-dessus peut tout aussi bien être répété à partir du couple toluène-méthyl cyclohexane en donnant les mêmes résultats.

Les réalisations de l'invention au sujet desquelles un droit exclusif de propriété ou de privilège est revendiqué, sont définies comme il suit:

1. Dispositif pour la déshydrogénéation du cyclohexane ou du méthyl cyclohexane caractérisé en ce qu'il comprend:

un réservoir destiné à contenir du cyclohexane ou du méthyl cyclohexane;

un réacteur catalytique;

des moyens permettant de vaporiser le cyclohexane ou le méthyl cyclohexane et d'introduire les vapeurs ainsi produites dans le réacteur catalytique;

des moyens de chauffer le réacteur catalytique à une température contribuant à décomposer le cyclohexane en benzène et en hydrogène ou le méthyl cyclohexane en toluène et en hydrogène;

un condenseur à la sortie du réacteur catalytique facilitant la liquéfaction des vapeurs de benzène ou de toluène et la libération de l'hydrogène;

des moyens de récupérer séparément le benzène ou le toluène liquide et l'hydrogène.

2. Dispositif selon la revendication 1 caractérisé en ce qu'il comprend une source de chaleur capable de porter à l'ébullition le cyclohexane ou le méthyl cyclohexane présent dans le réservoir.

3. Dispositif selon la revendication 1 caractérisé en ce qu'il comprend un premier conduit reliant le réservoir au réacteur catalytique, ce qui facilite le passage des vapeurs

1170100

de cyclohexane ou de méthyl cyclohexane à partir du réservoir vers le réacteur catalytique.

4. Dispositif selon la revendication 3 caractérisé en ce qu'il comprend un ruban chauffant entourant le premier conduit assurant le maintien du cyclohexane ou du méthyl cyclohexane à l'état vaporisé avant son introduction dans le réacteur catalytique.

5. Dispositif selon la revendication 1 dans lequel le réacteur catalytique est constitué par un second conduit à l'intérieur duquel se trouve un catalyseur, et un four pouvant être chauffé entre environ 250°C et 300°C dans lequel se situe le second conduit.

6. Dispositif selon la revendication 5 caractérisé en ce qu'il comprend un troisième conduit reliant le condenseur au réacteur catalytique.

7. Dispositif selon la revendication 6 caractérisé en ce qu'il comprend un récipient où l'on récupère le benzène ou le toluène liquide libéré par le condenseur, un conduit de dérivation reliant le condenseur au récipient et une sortie d'hydrogène aménagée le long du quatrième conduit.

8. Système d'alimentation en hydrogène d'un moteur à combustion interne ou d'une pile à combustion à partir du cyclohexane ou du méthyl cyclohexane caractérisé en ce qu'il comprend:

un réservoir destiné à contenir du cyclohexane ou du méthyl cyclohexane ou un mélange de cyclohexane et de benzène

ou du méthyl cyclohexane ou un mélange de méthyl cyclohexane et de toluène;

un réacteur catalytique;

des moyens permettant de vaporiser le cyclohexane ou le méthyl cyclohexane et d'introduire les vapeurs ainsi produites dans le réacteur catalytique;

des moyens de chauffer le réacteur catalytique à une température contribuant à décomposer le cyclohexane en benzène et en hydrogène ou le méthyl cyclohexane en toluène et en hydrogène;

un condenseur à la sortie du réacteur catalytique facilitant la liquéfaction des vapeurs de benzène ou de toluène et la libération de l'hydrogène;

des moyens de récupérer séparément le benzène ou le toluène liquide et l'hydrogène;

des moyens pour alimenter le moteur à combustion interne ou la pile à combustion avec l'hydrogène récupéré à l'étape précédente;

des moyens permettant d'acheminer le benzène ou le toluène liquide vers le réservoir.

9. Système selon la revendication 8 caractérisé en ce qu'il comprend un réservoir tampon d'hydrogène relié au moteur à combustion interne, permettant le fonctionnement de ce dernier jusqu'à ce que l'hydrogène produit par le réacteur catalytique puisse être fourni directement au moteur.

10. Système selon la revendication 9 caractérisé en ce que le réservoir est muni d'une ouverture pour le plein en cyclohexane ou en méthyl cyclohexane et d'une vidange pour enlever le benzène ou le toluène du réservoir lorsqu'il est

épuisé en cyclohexane ou en méthyl cyclohexane.

11. Système selon la revendication 10 caractérisé en ce que le réservoir est relié au réacteur catalytique par un premier conduit, et qu'une pompe est prévue le long de ce premier conduit pour faire passer le cyclohexane ou le méthyl cyclohexane du réservoir au réacteur catalytique.

12. Système selon la revendication 11 caractérisé en ce qu'un détecteur UV de benzène ou de toluène est disposé le long du premier conduit afin de déterminer l'épuisement en cyclohexane ou en méthyl cyclohexane du réservoir et d'indiquer le moment venu de vidanger le benzène ou le toluène du réservoir et de faire le plein en cyclohexane ou en méthyl cyclohexane.

13. Système selon la revendication 11, caractérisé en ce que le premier conduit se termine à l'intérieur du réacteur catalytique, par un atomiseur vaporisateur destiné à former des vapeurs de cyclohexane ou de méthyl cyclohexane dans le réacteur catalytique.

14. Système selon la revendication 13, caractérisé en ce que des moyens sont prévus pour chauffer le réacteur catalytique en se servant de la chaleur qui émane du moteur à combustion interne.

15. Système selon la revendication 14, caractérisé en ce qu'un filtre trappe est prévu à la sortie du condenseur destiné à prévenir l'acheminement du benzène ou du toluène vers le moteur à combustion interne tout en permettant le passage de l'hydrogène vers ce dernier.

16. Système selon la revendication 15, caractérisé en ce que le réservoir tampon contient un hydrure métallique.

17. Système selon la revendication 16, caractérisé en ce que l'hydrure métallique est choisi dans le groupe constitué par le LaNi_5H_x , où x varie entre 0 et 5, $\text{FeTiH}_{1,6}$ ou le Misch metal Ni_5H_y où y varie entre 0 et 5.

18. Méthode d'alimentation en hydrogène d'un moteur à combustion interne ou d'une pile à combustion à partir du cyclohexane ou du méthyl cyclohexane contenu dans un réservoir, caractérisé en ce que:

après avoir amorcé le moteur par de l'hydrogène que l'on retire d'un réservoir tampon,

l'on soutire du cyclohexane ou du méthyl cyclohexane contenant éventuellement du benzène ou du toluène dudit réservoir;

l'on vaporise le cyclohexane ou le méthyl cyclohexane dans un réacteur catalytique que l'on chauffe à une température permettant de dissocier le cyclohexane en hydrogène et en benzène ou le méthyl cyclohexane en hydrogène et en toluène;

l'on condense le benzène ou le toluène;

l'on introduit l'hydrogène dans le moteur, et le benzène ou le toluène liquide dans le réservoir.

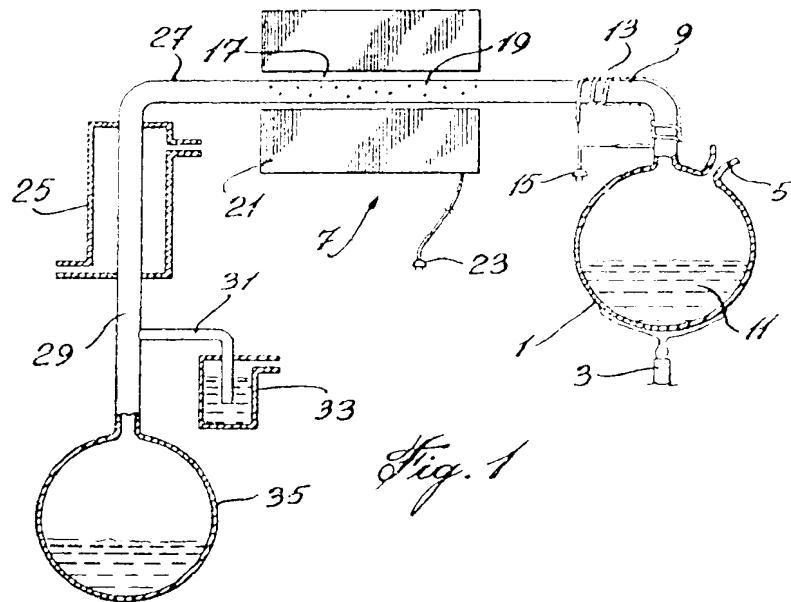


Fig. 1

